

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRONICA**  
**PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN PROFESIONAL VERSIÓN**  
**VIII 2018-1.**



**INFORME DE INVESTIGACIÓN**

---

**“DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA  
INVERSIONES OBERTI S.R.L - PIURA”**

---

Presentado Por:

Br. GARCIA CORREA HENRY HOMERO

Br. YARLEQUE OLAYA VICTOR ALONSO

Asesor:

Dr. Ing. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ ORDINOLA

Para optar el título profesional de:

INGENIERO MECATRÓNICO

Línea de investigación:

INFORMATICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Sub línea de investigación:

MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRONICA**  
**PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN PROFESIONAL VERSIÓN**  
**VIII 2018-1.**



**INFORME DE INVESTIGACIÓN**



---

**“DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA  
INVERSIONES OBERTI S.R.L - PIURA”**

---

Br. GARCIA CORREA  
HENRY HOMERO

EJECUTOR

Br. YARLEQUE OLAYA  
VICTOR ALONSO

EJECUTOR

Dr. Ing. VÍCTOR HUGO RAMÍREZ ORDINOLA

ASESOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRONICA**  
**PROGRAMA DE ACTUALIZACIÓN PARA TITULACIÓN PROFESIONAL VERSIÓN**  
**VIII 2018-I.**



**INFORME DE INVESTIGACIÓN**



---

**“DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA  
INVERSIONES OBERTI S.R.L - PIURA”**

---

  
Msc. Ing. Fernando Madrid Guevara  
MIEMBRO DEL JURADO

  
Msc. Ing. Dubert Reyes Vásquez  
MIEMBRO DEL JURADO

  
Msc. Ing. Carlos Enrique Mariano Coello Oballe  
MIEMBRO DEL JURADO



## ACTA DE EVALUACIÓN DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

Los miembros del Jurado Calificador del Informe de Investigación denominado **"DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA INVERSIONES OBERTI S.R.L. - PIURA"**, presentado por los Bachilleres: **HENRY HOMERO GARCÍA CORREA Y VICTOR ALONSO YARLEQUE OLAYA**, participantes del Programa de Actualización para Titulación Profesional en la **ESPECIALIDAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**, Versión VIII 2018-1; asesorados por el Dr. Víctor Hugo Ramírez Ordinola; habiendo revisado el informe de investigación y absueltas las interrogantes formuladas por el Jurado Calificador, lo declaran:

APROBADO



Con los calificativos:

- HENRY HOMERO GARCÍA CORREA
- VICTOR ALONSO YARLEQUE OLAYA

BUENO

BUENO

Piura, 29 de diciembre de 2018

MSc. FERNANDO MADRID GUEVARA  
Miembro del Jurado Calificador

MSc. DUBERT REYES VÁSQUEZ  
Miembro del Jurado Calificador

MSc. CARLOS ENRIQUE MARIANO COELLO OBALLE  
Miembro del Jurado Calificador



# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

Yo: **GARCIA CORREA HENRY HOMERO**, identificado con **DNI N° 72366994**, Bachiller de la **ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRONICA** de la Facultad de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, y domiciliado en **Mz F1 Lt 04 Urb. Cosio del Pomar**, del Distrito de **Castilla**, Provincia de **Piura**, Departamento de **Piura**.

Celular: 944685515

Email: teik\_he@hotmail.com

### **“DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA INVERSIONES OBERTI S.R.L - PIURA”**

DECLARO BAJO JURAMENTO: que el informe de investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor. En fe de lo cual firmo la presente.



Huella digital

Piura, 10 de enero del 2019

  
Br. Henry Homero Garcia Correa  
DNI N° 72366994

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

# DECLARACIÓN JURADA

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DEL INFORME DE INVESTIGACIÓN

Yo: **YARLEQUE OLAYA VICTOR ALONSO**, identificado con DNI N° 70613331, Bachiller de la ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRONICA de la Facultad de INGENIERÍA INDUSTRIAL, y domiciliado en Calle Balta N°229, del Distrito de Sullana, Provincia de Sullana, Departamento de Piura,

Celular: 975704398

Email: victor.yarleque.13@gmail.com

**“DISEÑO DE UN PLAN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA INVERSIONES OBERTI S.R.L - PIURA”**

DECLARO BAJO JURAMENTO: que el informe de investigación que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor. En fe de lo cual firmo la presente.



Huella digital

Piura, 10 de enero del 2019

  
Bt. Víctor Alonso Yarleque Olaya  
DNI N° 70613331

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación con hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales -RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

## **DEDICATORIA**

### **A MIS PADRES**

Por guiar mi camino todos estos años de estudio  
y ser un pilar fundamental en todo, por sus valores  
y principios en el fortalecimiento personal y profesional.

Un Abrazo al cielo Max Henry

### **A LA UNP**

Una gran casa de estudios que nos albergó todos  
estos años, siempre estaremos orgullosos de  
pertenecer a las filas de la Universidad Nacional  
de Piura

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios, porque el da sabiduría y  
de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

A nuestros padres por apoyarnos siempre de  
manera incondicional



# INDICE

<i>RESUMEN</i> .....	1
<i>ABSTRACT</i> .....	2
<i>INTRODUCCIÓN</i> .....	3
<b>I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA</b> .....	4
<b>1.1. Descripción de la Realidad Problemática</b> .....	4
<b>1.2. Formulación del Problema de Investigación</b> .....	5
1.2.1. Problema general .....	5
<b>1.3. Justificación e Importancia de la Investigación</b> .....	5
<b>1.4. Objetivos de la Investigación</b> .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
<b>2.1. Mantenimiento</b> .....	7
2.1.1. Concepto .....	7
2.1.2. Objetivos del mantenimiento .....	7
2.1.3. Modelos de Mantenimiento .....	8
2.1.3.1. Modelo Correctivo .....	8
2.1.3.2. Modelo Condicional .....	8
2.1.3.3. Modelo Sistemático .....	9
2.1.3.4. Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad .....	10
2.1.4. Tipos de Mantenimiento .....	11
2.1.4.1. Mantenimiento Correctivo .....	11
2.1.4.2. Mantenimiento Preventivo .....	11
2.1.4.2.1. Definición .....	11
2.1.4.2.2. Características .....	12
2.1.4.2.3. Nociones Generales .....	12
2.1.4.2.4. Ventajas .....	14
2.1.4.2.5. Desventajas .....	15
2.1.4.2.6. Plan de Mantenimiento Preventivo .....	15
2.1.4.3. Mantenimiento Predictivo .....	19
2.1.4.4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul) .....	19
2.1.4.5. Mantenimiento en Uso .....	19
2.1.5. Importancia del Mantenimiento .....	20
2.1.6. Indicadores del Mantenimiento .....	22
2.1.6.1. Disponibilidad .....	22

2.1.6.2.	Fiabilidad .....	23
2.1.6.3.	Mantenibilidad .....	23
2.1.6.4.	Eficacia Total de los Equipos (OEE) .....	23
2.1.6.5.	Rendimiento .....	23
2.1.6.6.	Calidad.....	24
2.1.7.	Mantenimiento Productivo Total (TPM) .....	24
2.1.7.1.	Concepto .....	24
2.1.7.2.	Metas.....	25
2.1.7.3.	Objetivos.....	25
2.1.7.4.	Características.....	26
2.1.7.5.	Inconvenientes.....	26
2.1.7.6.	Pilares.....	27
2.1.8.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) .....	27
2.1.8.1.	Introducción a la Confiabilidad.....	27
2.1.8.2.	Definición.....	28
2.1.8.3.	Informe del RCM.....	29
2.2.	Diagrama de Pareto .....	32
2.3.	Excavadora 324DL marca Caterpillar - 2013.....	33
<b>III.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>38</b>
3.1	Diseño .....	38
3.2.	Sujetos de la Investigación .....	38
3.3.	Métodos y Procedimientos .....	39
3.3.1.	Análisis de Historio de Fallas .....	39
3.3.2.	Diseñar Un Plan de Mantenimiento Preventivo. ....	39
3.3.3.	Materiales y Equipos Utilizados Para el Análisis de Datos.....	39
3.3.4.	Procedimientos en la Reparación de Fallas.....	40
3.4.	Técnicas e Instrumentos .....	41
3.4.1.	Técnicas de Muestreo.....	41
3.4.2.	Técnicas de Recolección de Datos .....	41
3.4.3.	Instrumentos de Recolección de Datos .....	41
3.4.4.	De Análisis .....	41
<b>IV.</b>	<b>DESARROLLO Y DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
4.1.	Desarrollo de Objetivos .....	42
4.1.1.	Plan de Mantenimiento Actual.....	42
4.1.2.	Análisis de Equipo Critico .....	42
4.1.3.	Propuesta de Plan de Mantenimiento Preventivo Para La Excavadora Caterpillar 324 DL	45
4.1.3.1.	Formatos de Gestión para el Plan de Mantenimiento .....	47
4.1.4.	Estimación de Costos para el Plan de Mantenimiento .....	50
4.1.5.	Plan de Mantenimiento Preventivo Desarrollado para La Excavadora Caterpillar 324DL	52

4.1.5.1. Motor .....	52
4.1.5.2. Trasmisión .....	53
4.1.5.3. Sistema Hidráulico.....	53
4.1.5.4. Frenos.....	54
4.1.5.5. Sistema eléctrico.....	54
4.1.5.6. Carrocería y Cabina .....	54
CONCLUSIONES.....	56
RECOMENDACIONES.....	57
BIBLIOGRAFIA .....	58
ANEXOS .....	59

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Diagrama de Pareto .....</i>	32
<i>Figura 2.2 Excavadora 324 DL en Campo.....</i>	33
<i>Figura 2.3 Motor CAT 7 para Excavadora 324 D L.....</i>	34
<i>Figura 2.4 Cabina de la Excavadora 324 DL .....</i>	34
<i>Figura 2.5 Bastidor principal de la Excavadora 324 DL .....</i>	36
<i>Figura 2.6 Varillaje de la pluma, brazos y cucharón de la Excavadora 324 DL ...</i>	37
<i>Figura 3.1 Diagrama para reparación de fallas .....</i>	40
<i>Figura 4.1 Diagrama Del plan de Mantenimiento Propuesto .....</i>	46
<i>Figura 4.2 Formato de Inspección Diaria propuesto .....</i>	48
<i>Figura 4.3 Formato de Solicitud de mantenimiento propuesto .....</i>	49
<i>Figura 4.4 Diagrama para presupuestar actividades del mantenimiento .....</i>	51
<i>Figura 5.1 Excavadora 324 DL en Reparación (Julio 2018) .....</i>	59
<i>Figura 5.2 Radiador sucio de la Excavadora 324 DL .....</i>	59
<i>Figura 5.3 Fuga de Aceite de la Excavadora 324 DL .....</i>	60
<i>Figura 5.4 Base del filtro de aceite roto .....</i>	60

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1 Análisis de Equipo Crítico de la empresa Inversiones Oberti SRL .....</i>	42
<i>Tabla 4.2 Costos de reparación de la maquinaria de Inversiones Oberti SRL .....</i>	43
<i>Tabla 4.3 actividades para el mantenimiento del Motor de la excavadora .....</i>	52
<i>Tabla 4.4 actividades para el mtto de la transmisión de la excavadora 324 DL ...</i>	53
<i>Tabla 4.5 actividades para el mtto del Sistema Hidráulico .....</i>	54
<i>Tabla 4.6 actividades para el mtto de los Frenos de la excavadora 324 DL .....</i>	54
<i>Tabla 4.7 actividades para el mtto del Sistema Eléctrico .....</i>	54
<i>Tabla 4.8 actividades para el mtto de la Carrocería y Cabina .....</i>	55
<i>Tabla 4.9 Relación de filtros, aceites y repuestos para la excavadora 324 DL ....</i>	55

## INDICE DE GRAFICAS

<i>Grafico 4.1 Diagrama de Pareto de la empresa Inversiones Oberti SRL .....</i>	43
<i>Grafico 4.2 Diagrama de Pareto Evaluando Costos .....</i>	44

## **RESUMEN**

La empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L presenta fallas inesperadas en la flota de maquinaria pesada que afectan el tiempo de entrega de las obras, teniendo así un alto costo a la hora de repararlas, el objetivo de la presente investigación es diseñar un plan integral de mantenimiento preventivo que elevara el índice de disponibilidad de la maquinaria disminuyendo las horas de parada de estos. Según el análisis Crítico de fallas que se llevó acabo en el periodo de Junio a Noviembre del 2018 a toda la maquinaria se llegó observar mediante un diagrama de Pareto que el equipo con más fallas es la Excavadora CATERPILLAR 324 DL y en la cual nos centramos en desarrollar nuestra investigación, el plan de mantenimiento preventivo para este equipo se realizó en base a las instrucciones del manual del fabricante y las recomendaciones de los operados creando formatos de operación diaria y fichas de programación de las actividades, dividiendo estas en 5 subsistemas (Motor, Transmisión, Sistema Hidráulico, Frenos y Sistema Eléctrico); Llegando a concluir que el Plan de mantenimiento desarrollado ayudara a minimizar al máximo las fallas que puedan presentarse a partir de la implementación de este.

Palabras Claves: Mantenimiento Preventivo, RCM, TPM, diagrama de Pareto y disponibilidad.

## **ABSTRACT**

The company INVERSIONES OBERTI SRL presents unexpected failures in the fleet of heavy machinery that affect the delivery time of the works, thus having a high cost when it comes to repairing them, the objective of this research is to design a comprehensive preventive maintenance plan that It will increase the availability index of the machinery by decreasing the hours of stopping them. According to the critical analysis of failures that took place in the period from June to November of 2018 to all the machinery it was observed through a Pareto diagram that the equipment with the most faults is the CATERPILLAR 324 DL Excavator and in which we focus on To develop our research, the preventive maintenance plan for this equipment was made based on the instructions of the manufacturer's manual and the recommendations of the operators creating daily operation formats and program activity sheets, dividing them into 5 subsystems (Motor, Transmission, Hydraulic System, Brakes and Electrical System); Reaching to conclude that the developed Maintenance Plan will help minimize the failures that may arise from the implementation of this.

**Key Words:** Preventive Maintenance, RCM, TPM, Pareto diagram and availability.



## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad el mantenimiento preventivo se ha vuelto una necesidad para las empresas que demandan exigencias diarias en la industria de la construcción, para disminuir los tiempos muertos que surgen por los mantenimientos correctivos de diversas maquinas, es necesario que las empresas cuenten con un plan propio de mantenimiento preventivo para la flota de maquinaria que poseen.

INVERSIONES OBERTI S.R.L es una empresa con nueve años de experiencia en la industria de la construcción cumpliendo las exigencias del mercado en calidad y tiempos de entrega, cuenta con una flota de maquinaria pesada para la realización de diferentes tipos de trabajo tales como el movimiento de tierras y transporte de materiales de construcción, el presente informe se enfoca al estudio del mantenimiento preventivo de: 01 Excavadora 324DL marca Caterpillar, dicha maquinaria por su alto costo de reparación debe contar con un plan de mantenimiento.

Para reducir los mantenimientos constantes de carácter correctivo es importante diseñar un plan integral de mantenimiento preventivo que permita aumentar su vida útil y disminuir costos de reparación, debiendo incluir: sistema de enfriamiento, sistema eléctrico, sistema hidráulico y sistema de arrastre.

Es por ello se cree conveniente diseñar un plan integral de mantenimiento del tipo preventivo, se tendrá en cuenta aspectos fundamentales acerca de los tipos de mantenimiento, la gestión de mantenimiento, la detección temprana y solución de fallas potenciales.

# **I. ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA**

## **1.1. Descripción de la Realidad Problemática**

La empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L se dedica a la construcción de obras y suministro de materiales, para la realización de las actividades posee maquinaria pesada, la cual está sometida a un trabajo constante, surgiendo fallas inesperadas que afectan al tiempo de entrega de obra, teniendo un alto costo de reparación.

Existen distintos tipos de mantenimiento que se asignan dependiendo de la producción, u horas de servicio, tales como el manteamiento correctivo, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo; el mantenimiento correctivo debe evitarse en gran medida por que incurre en gastos excesivos, es por esto se debe contar con un plan de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta aspectos como el desgaste, abrasión, desbalance o vibración de las piezas que están propensas a fallar. Una mala planificación se verá reflejada en paradas imprevistas o intempestivas que afectarán al proceso, o para este caso de estudio al tiempo de entrega de la obra y exceso en los presupuestos de reparación.

Es por ello que surge la necesidad de diseñar un plan integral de mantenimiento preventivo en la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L; los trabajos correctivos provisionales realizados sin un estudio adecuado de cada máquina no han dado resultado. Con un plan de mantenimiento preventivo se podrá reducir el tiempo de inactividad, costos excesivos en repuestos y mano de obra, teniendo en cuenta los datos del fabricante se determinarán los tiempos de realización del mantenimiento, identificación y reemplazo componentes deteriorados, corrigiendo problemas potenciales antes de que lleven a una falla.

## **1.2. Formulación del Problema de Investigación**

### **1.2.1. Problema general**

¿Se podrá diseñar un plan integral de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L.?

## **1.3. Justificación e Importancia de la Investigación**

En la actualidad la empresa OBERTI S.R.L. a su maquinaria pesada solo le aplica mantenimiento correctivo, esto trae consigo un alto costo de reparación y reemplazo de piezas, perdiendo la empresa recursos económicos y se aleja de su presupuesto para cubrir estos gastos, por lo tanto, se requiere un diseño de plan integral de mantenimiento preventivo. Esto se justifica siendo primordial el buen funcionamiento de toda la maquinaria para cumplir los plazos de entrega de obra. Generalmente las obras realizadas por la empresa se ubican en zonas de la sierra de Piura, zonas de difícil acceso: por la lejanía a la ciudad, condiciones climáticas desfavorables; al tener un equipo parado se generarán retrasos y posibles sanciones por no cumplir con los plazos de entrega. En muchas ocasiones debemos reemplazar componentes en la maquinaria que fallan por falta de un mantenimiento preventivo, teniendo un costo elevado y más aún cuando son de importación, siendo este último un punto que juega en contra a la rentabilidad del negocio y retrasa considerablemente el proyecto en ejecución.

La importancia radica en la solución práctica, realizando el diseño de un plan de mantenimiento basado en los parámetros exigidos por el fabricante que permitirá estructurar las actividades preventivas impactando positivamente en la vida útil y disminuyendo costos de reparaciones correctivas, cumpliendo los plazos de entrega de obra.

El beneficiario no solo será la empresa que es objeto de estudio, sino también otras compañías que han adquirido maquinaria con la misma característica y están tratando de consolidarse en el mercado. Además, se aplicará estrategia de mantenimiento que son usadas por muchas empresas, como el mantenimiento preventivo, pero que aún no es utilizadas en las empresas recién constituidas por la falta de conocimiento de aplicar una correcta estrategia de mantenimiento que ayuden a resolver problemas de los métodos obsoletos o improvisados de reparación.

## **1.4. Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa constructora INVERSIONES OBERTI S.R.L.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar la maquinaria crítica a partir de un análisis de fallas y un análisis de costo de la flota de maquinaria de INVERSIONES OBERTI S.R.L. durante el periodo Junio – noviembre 2018.
- Proponer actividades de mantenimiento preventivo al equipo crítico basado en las recomendaciones del proveedor del equipo y la experiencia técnica para ser presentada e implementada en INVERSIONES OBERTI S.R.L.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Mantenimiento**

#### **2.1.1. Concepto**

La Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) define al mantenimiento como conjunto de actividades destinadas a mantener o establecer un bien a un estado a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento, para cumplir con una función requerida.

Estas actividades suponen una combinación de prácticas técnicas, administrativas y de gestión. Existen diferentes tipos de mantenimiento.

En resumen, mantenimiento es asegurar que todo activo continúe desempeñando las funciones deseadas.

#### **2.1.2. Objetivos del mantenimiento**

- Asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

Garantizar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada.

- Satisfacer todos los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente, y maximizar el beneficio para la empresa.



### **2.1.3. Modelos de Mantenimiento**

Cada uno de los modelos que se exponen a continuación incluye varios de los tipos anteriores de mantenimiento, en la proporción que se indica.

Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable. Incluso en el modelo más sencillo (Modelo Correctivo), en el que prácticamente abandonamos el equipo a su suerte y no nos ocupamos de él hasta que no se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes y lubricarlos con productos adecuados a sus características.

Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero. Esta inspección nos permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente será más económica cuanto antes detectemos el problema.

Hecha esta puntualización, podemos definir ya los diversos modelos de mantenimiento posibles.

#### **2.1.3.1. Modelo Correctivo**

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, como veremos, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico. En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.

#### **2.1.3.2. Modelo Condicional**

Incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas descubrimos una anomalía, programaremos una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no actuaremos sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en aquellos equipos de poco uso, o equipos que a pesar de ser importantes en el sistema productivo su probabilidad de fallo es baja.

### **2.1.3.3. Modelo Sistemático**

Este modelo incluye un conjunto de tareas que realizaremos sin importarnos cuál es la condición del equipo; realizaremos, además, algunas mediciones y pruebas para decidir si realizamos otras tareas de mayor envergadura; y, por último, resolveremos las averías que surjan.

Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos.

Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija.

Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja.

Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

Un ejemplo de equipo sujeto a este modelo de mantenimiento es un reactor discontinuo, en el que las materias que deben reaccionar se introducen de una sola vez, tiene lugar la reacción, y posteriormente se extrae el producto de la reacción, antes de realizar una nueva carga. Independientemente de que este reactor esté duplicado o no, cuando está en operación debe ser fiable, por lo que se justifica realizar una serie de tareas con independencia de que hayan presentado algún síntoma de fallo.

#### **2.1.3.4. Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad**

Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%.

La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto costo en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo (correctivo, preventivo sistemático).

Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior. En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año (piezas con una vida inferior a dos años).

Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tienen que ser exactamente iguales año tras año.

Como quiera que sea en este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es cero averías, en general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo conveniente en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la Puesta a Cero anual debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

#### **2.1.4. Tipos de Mantenimiento**

Tradicionalmente, se han distinguido cinco tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen.

##### **2.1.4.1. Mantenimiento Correctivo**

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

##### **2.1.4.2. Mantenimiento Preventivo**

###### **2.1.4.2.1. Definición**

Conjunto de actividades periódicas y permanentes que tienen la particularidad de prever anticipadamente el deterioro, producto del uso y agotamiento de la vida útil de componentes, partes, piezas, materiales y en general, permitiendo su recuperación, restauración, renovación y operación continua, confiable, segura y económica, sin agregarle valor al establecimiento.

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo.

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario

para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

#### **2.1.4.2.2. Características**

El mantenimiento preventivo presenta las siguientes características:

- ) Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovechan las horas ociosas de la planta.
- ) Se lleva a cabo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios listos para cuando se requieran.
- ) Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- ) Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- ) Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- ) Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.
- ) La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

#### **2.1.4.2.3. Nociones Generales**

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.



El mantenimiento preventivo consiste en crear un ambiente favorable para el sistema y conservar limpias todas las partes que lo componen. El mayor número de fallas que presentan los equipos es por la acumulación de polvo en los componentes internos, ya que este actúa como aislante térmico.

El calor generado por los componentes no puede dispersarse adecuadamente porque es atrapado en la capa de polvo.

Las partículas de grasa y aceite que pueda contener el aire del ambiente se mezclan con el polvo, creando una espesa capa aislante que refleja el calor hacia los demás componentes, con lo cual se reduce la vida útil del sistema en general. Por otro lado, el polvo contiene elementos conductores que pueden generar cortocircuitos entre las trayectorias de los circuitos impresos y tarjetas de periféricos.

Si se requiere prolongar la vida útil del equipo y hacer que permanezca libre de reparaciones por muchos años se debe de realizar la limpieza con frecuencia.

El medio ambiente que rodea al sistema encuentra en él un imán de polvo, se preguntará y esto en qué me afecta. Pues resulta que el polvo, aunado a un ambiente húmedo o muy seco puede ser un magnífico conductor eléctrico, lo cual puede provocar pequeñas fallas en los componentes electrónicos, asimismo el polvo acumulado reduce la eficiencia de los ventiladores de enfriamiento y puede actuar como un manto aislante que conserva el calor y no permite que la irradiación de éste se aleje de los componentes. De este modo, se debe limpiar el sistema, tomando en cuenta que dependiendo del medio ambiente que lo rodee dependerá la periodicidad con que se lleve a cabo ésta tarea.

Ahora bien, si ya se está dispuesto a dar mantenimiento al sistema, será conveniente establecer medidas de seguridad y más o menos determinar cuál será el área de trabajo ideal para abrir al sistema. La mayor de las veces que uno realiza un trabajo, cualquiera que sea éste, es necesario siempre contar con todo el material, herramientas y área de trabajo adecuados para llevar a buen término dicha tarea. Un ejemplo muy simple es el siguiente: si al retirar una tuerca para remover una pieza mecánica, no cuento con una llave adecuada, y por falta de tiempo utilizo unas pinzas de presión, de momento se soluciona el problema, pero al no utilizar la llave adecuada se pueden ocasionar

problemas que van desde el maltrato de la tuerca en el menor de los casos, y en el peor su deformación por la aplicación excesiva de presión, con la consecuencia de quedar inutilizada y tener que retardar el término de la tarea.

Una iluminación adecuada es indispensable para poder observar las áreas que se limpiarán, a la par de una mejor identificación de los componentes para evitar confusiones al momento de conectar los diferentes cables que hay dentro del sistema.

#### **2.1.4.2.4. Ventajas**

¿Porque el mantenimiento preventivo aumenta la eficiencia de las instalaciones?

El realizar mantenimiento preventivo en instalaciones eléctricas de manera organizada y pro-activa genera muchos beneficios, por mencionar algunos:

- J Aumento de la disponibilidad. A través del aumento del tiempo entre fallas y la disminución del tiempo medio de reparaciones.
- J Aumento de la productividad. Esto por medio de una mejor planeación y organización.
- J Reducción de costos de tercerización. Debido a una mejor planeación, un menor número de solicitudes de servicios de emergencia y una menor cantidad de picos de servicio.
- J Reducción de inventarios. A través del establecimiento de planes de trabajo que identifican con exactitud cuáles son los materiales requeridos y cuando serán necesarios para su aplicación en órdenes de trabajo.
- J Reducción de compra de materiales. Debido a las mejores prácticas y decisiones de compra y a un menor número de compras de emergencia.
- J Reducción de consumo de energía eléctrica. A través de la implementación de rutas de inspección de puntos donde hay mayores pérdidas de energía.

#### **2.1.4.2.5. Desventajas**

- J Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- J Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.
- J Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

#### **2.1.4.2.6. Plan de Mantenimiento Preventivo**

El problema para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para un determinado equipo consiste en determinar:

- Que debe inspeccionarse.
- Con qué frecuencia se debe inspeccionar y evaluar.
- A qué debe dársele servicio.
- Con qué periodicidad se debe dar el mantenimiento preventivo.
- A qué componentes debe asignárseles vida útil.
- Cuál debe ser la vida útil de dichos componentes.

#### **A. Recursos Técnicos**

Para determinar los puntos anteriores se recurre a:

- Recomendación del fabricante.
- Recomendación de otras instalaciones similares.
- Experiencias propias.
- Análisis de ingeniería.

## **B. Inspección**

Para determinar lo que debe inspeccionarse se dan a continuación las recomendaciones siguientes:

- Todo lo susceptible de falla mecánica progresiva, como desgaste, corrosión y vibración.
- Todo lo expuesto a falla por acumulación de materias extrañas: humedad, envejecimiento de materiales aislantes, etc.
- Todo lo que sea susceptible de fugas, como es el caso de sistemas hidráulicos, neumáticos, de gas y tuberías de distribución de fluidos.
- Lo que, con variación, fuera de ciertos límites, puede ocasionar fallas como niveles de depósito de sistemas de lubricación, niveles de aceite aislante, niveles de agua.
- Los elementos regulares de todo lo que funcione con características controladas de presión, gasto, temperatura, holgura mecánica, voltaje, etc.

## **C. Clasificación de Componentes**

- Componentes no reparables. Aquellos que se desechan al agotar su vida útil o al fallar.
- Componentes reparables o re construibles. Aquellos que al agotar su vida útil o al fallar se sustituyen y se envían a talleres para su inspección, reparación, ajuste, calibración, pruebas, etc., después de lo cual quedan disponibles para ser instalados de nuevo.

## **D. Planeación del Trabajo de Mantenimiento**

La planeación permite estimar las actividades que estarán sujetas a la cantidad y calidad de mano de obra necesaria, los materiales y refacciones que se deberán emplear, así como el equipo y el tiempo probables en el trabajo que se pretende desarrollar.

La planeación debe prever tiempos muertos por factores diversos, cuya probabilidad de ocurrencia y lapsos los da la experiencia.

## **E. Políticas de Mantenimiento**

Cuando se pone en práctica una política de mantenimiento, esta requiere de la existencia de un Plan de Operaciones, el cual debe ser conocido por todos y debe haber sido aprobado previamente por las autoridades de la organización. Este Plan permite desarrollar paso a paso una actividad programa en forma metódica y sistemática, en un lugar, fecha, y hora conocido.

A continuación, se enumeran algunos puntos que el Plan de Operaciones no puede omitir:

- ) Determinación del personal que tendrá a su cargo el mantenimiento, esto incluye, el tipo, especialidad, y cantidad de personal.
- ) Determinación del tipo de mantenimiento que se va a llevar a cabo.
- ) Fijar fecha y el lugar donde se va a desarrollar el trabajo.
- ) Fijar el tiempo previsto en que los equipos van a dejar de producir, lo que incluye la hora en que comienzan las acciones de mantenimiento, y la hora en que deben de finalizar.
- ) Determinación de los equipos que van a ser sometidos a mantenimiento, para lo cual debe haber un sustento previo que implique la importancia y las consideraciones tomadas en cuenta para escoger dichos equipos.

- ) Señalización de áreas de trabajo y áreas de almacenamiento de partes y equipos.
- ) Stock de equipos y repuestos con que cuenta el almacén, en caso sea necesario reemplazar piezas viejas por nuevas.
- ) Inventario de herramientas y equipos necesarios para cumplir con el trabajo.
- ) Planos, diagramas, información técnica de equipos.
- ) Plan de seguridad frente a imprevistos.
- ) Luego de desarrollado el mantenimiento se debe llevar a cabo la preparación de un informe de lo actuado, el cual entre otros puntos debe incluir:
  - Los equipos que han sido objeto de mantenimiento.
  - El resultado de la evaluación de dichos equipos.
  - Tiempo real que duro la labor.
  - Personal que estuvo a cargo.
  - Inventario de piezas y repuestos utilizados.
  - Condiciones en que responde el equipo (reparado) luego del mantenimiento.
  - Conclusiones

#### **2.1.4.3. Mantenimiento Predictivo**

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad.

Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo.

Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

#### **2.1.4.4. Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)**

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo.

#### **2.1.4.5. Mantenimiento en Uso**

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, ajuste de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve.

Este tipo de mantenimiento es la base del TPM, por sus siglas en inglés Total Productive Maintenance (Mantenimiento Productivo Total).

### **2.1.5. Importancia del Mantenimiento**

Las civilizaciones brillan no solo por el esplendor de sus pensamientos, sino también por su realización de técnicas.

Existen en la actualidad y a medida que pasa el tiempo equipos más y más complejos de los que cada vez se benefician más personas, se encuentran sometidos a todo tipo de desgaste, por el simple hecho de su utilización, como desgaste por roce, abrasión, erosión, corrosión, deformación por esfuerzos térmicos, etc. Estas distintas fuerzas pueden entrañar a su vez en diversos tipos de defecto:

- ) Parcial. Defecto que tiene como resultado el que el bien solo pueda cumplir con parte de las funciones requeridas, o solo pueda cumplir con ellas de una manera limitada.
- ) Completo. Defecto que entraña la incapacidad para cumplir con todas las funciones requeridas.
- ) Súbito. Fallo brusco debido a una evolución casi instantánea de las características de un bien.
- ) Progresivo. Defecto debido a una evolución en el tiempo de las características de un bien.

En general los fallos progresivos pueden preverse con una inspección o control previo, y ser evitados mediante la puesta en marcha de políticas de mantenimiento.

La función del mantenimiento se revela, por consiguiente, necesaria para evitar en la medida de lo posible la aparición de fallos o llegado el caso para subsanación del mismo.

Ciertamente, la sustitución del equipo por uno nuevo cuando se produce una avería, o mejor, antes de producirse suprimirá casi en su totalidad la necesidad de su mantenimiento, esto no resulta posible en ciertos casos, como por ejemplo en los motores de un transporte en funcionamiento.



El costo directo de la puesta en marcha del mantenimiento solo constituye uno más de los factores económicos a tener en cuenta por la empresa, mientras los costos indirectos, es decir, los derivados de la falta de disponibilidad o deterioro de las funciones de los equipos, si presentan un factor económico de primer orden en ellas.

Las repercusiones económicas por la pérdida de la producción por paro, falta de disponibilidad o deterioro de la función y de los costos de falta de calidad que pudiera derivarse.

En resumen, la función del mantenimiento presenta una importancia capital:

- ) Desde una perspectiva económica, en lo que concierne al control de sus costos directos ya los costos atribuibles a la falta de disponibilidad o el deterioro de la función de los equipos.
- ) Desde la perspectiva de la seguridad de las personas y de los bienes.

### 2.1.6. Indicadores del Mantenimiento

Cuando se emprende cualquier actividad es necesario definir una serie de indicadores que cuantifiquen la eficacia y eficiencia de dichas actividades. De este modo se puede evaluar de forma objetiva si se consiguen los objetivos que se pretendían con la realización de dicha actividad.

#### 2.1.6.1. Disponibilidad

La disponibilidad es el principal parámetro asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción.

Se define como la probabilidad de que una máquina o sistema esté preparada para producción en un periodo de tiempo determinado, o sea que no esté parada por averías o ajustes.

$$D = \frac{T_o}{T_o + T_p}$$

$T_o$  = Tiempo total de operación

$T_p$  = Tiempo total de parada

Los periodos de tiempo nunca incluyen paradas planificadas, ya sea por convenios laborales, por mantenimiento planificado, o por paradas de producción, dado que estas no son debidas al fallo de la máquina.

Aunque la anterior es la definición natural de disponibilidad, se suele definir de forma más práctica a través de los tiempos medios entre fallos y de reparación, dado que son los datos que se conocerán para cada sistema.

Así, se tiene que:

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMDR}$$

$TMEF = MTBF =$  Tiempo Medio Entre Fallos

$$\text{TMDR} = \text{MTTR} = \text{Tiempo Medio de Reparación}$$

#### **2.1.6.2. Fiabilidad**

La fiabilidad es la probabilidad de que un determinado equipo o instalación desarrolle su función, bajo unas condiciones específicas, y durante un tiempo determinado.

Por tanto, la media de tiempos entre fallos (MTBF) caracteriza la fiabilidad de la máquina.

#### **2.1.6.3. Mantenibilidad**

La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo sea restablecido a una condición especificada, dentro de un período de tiempo dado, y usando unos recursos determinados.

Por tanto, la media de tiempos de reparación (MTTR) caracteriza la mantenibilidad del equipo.

#### **2.1.6.4. Eficacia Total de los Equipos (OEE)**

El OEE, por sus siglas en inglés Overall Equipment Effectiveness (Eficacia total de los equipos), es un indicador que se emplea para definir la eficiencia total de los equipos, al englobar bajo un sólo índice los tres parámetros fundamentales relacionados con el funcionamiento de los equipos de producción.

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Rendimiento} * \text{Calidad}$$

#### **2.1.6.5. Rendimiento**

El rendimiento contempla la pérdida de eficiencia de un determinado equipo como una disminución de su capacidad de producción frente a la nominal o esperada.

$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Nº total de unidades}}{\text{Tiempo de operaciones} \cdot \text{Capacidad Nominal}}$
--

#### **2.1.6.6. Calidad**

La calidad es el indicador de las pérdidas por fabricación defectuosa de los productos, ya sea al fabricar unidades que directamente deben ser desechadas como aquellas que requieran ser reprocesadas.

$$Calidad = \frac{N^{\circ} \text{ de unidades Validas}}{N^{\circ} \text{ total de unidades fabricadas}}$$

#### **2.1.7. Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

##### **2.1.7.1. Concepto**

TPM (Total Productive Maintenance), que traducido al español es Mantenimiento Productivo Total.

Este es el sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos.

Es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos.

Permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costes, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales.

### **2.1.7.2. Metas**

- J Maximizar la eficacia de los equipos.
- J Involucrar en el mismo a todos las personas y equipos que diseñan, usan o mantienen los equipos.
- J Obtener un sistema de Mantenimiento Productivo para toda la vida del equipo.
- J Involucrar a todos los empleados, desde los trabajadores a los directivos.
- J Promover el TPM mediante motivación de grupos activos en la empresa.

### **2.1.7.3. Objetivos**

Los objetivos que busca este mantenimiento son:

- J Cero averías en los equipos.
- J Cero defectos en la producción.
- J Cero accidentes laborales.
- J Mejorar la producción.
- J Minimizar los costes.

Estas acciones deben conducir a la obtención de productos y servicios de alta calidad, mínimos costes de producción, alta moral en el trabajo y una imagen de empresa excelente. No solo debe participar las áreas productivas, se debe buscar la eficiencia global con la participación de todas las personas de todos los departamentos de la empresa. La obtención de las "cero pérdidas" se debe lograr a través de la promoción de trabajo en grupos pequeños, comprometidos y entrenados para lograr los objetivos personales y de la empresa.

#### **2.1.7.4. Características**

Entre las características más significativas tenemos o son:

- J Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- J Participación amplia de todas las personas de la organización.
- J Es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
- J Orientado a la mejora de la Efectividad Global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
- J Intervención significativa del personal involucrado en la operación y producción en el cuidado y conservación de los equipos y recursos físicos.
- J Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.

El TPM se orienta a la mejora de dos tipos de actividades directivas:

- J Dirección de operaciones de mantenimiento.
- J Dirección de tecnologías de mantenimiento.

#### **2.1.7.5. Inconvenientes**

- J Proceso de implementación lento y costoso.
- J Cambio de hábitos productivos.
- J Implicación de trabajar juntos todos los escalafones laborales de la empresa.

#### **2.1.7.6. Pilares**

Los procesos fundamentales han sido llamados por el JIPM como "pilares". Estos pilares sirven de apoyo para la construcción de un sistema de producción ordenado. Se implantan siguiendo una metodología disciplinada, potente y efectiva. Los pilares considerados por el JIPM como necesarios para el desarrollo del TPM en una organización son:

#### **2.1.8. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

##### **2.1.8.1. Introducción a la Confiabilidad**

La confiabilidad es una de las características del rendimiento de un sistema donde la precisión en la evaluación de la confiabilidad de un sistema depende del conocimiento de sus modos de falla.

La precisión en la predicción de la confiabilidad es también crucial desde el punto de vista económico. La confiabilidad de un ítem determina la productividad operativa del mismo, así como los gastos de reparación y mantenimiento. Puede asimismo determinar el intervalo en que se distribuyen los costos operativos, y en el que se obtienen ingresos o servicios. Por tanto, la confiabilidad es un factor central para determinar el costo del ciclo de vida de un ítem.

Además de las consideraciones relativas al costo del ciclo de vida, la prevención de accidentes es generalmente muy importante. La confiabilidad es claramente un factor esencial en la seguridad de un producto. Con esta motivación, los métodos desarrollados para el análisis de confiabilidad son bastante amplios y han probado su gran eficacia en muchos casos a la hora de asegurar una longevidad adecuada de los sistemas.

### 2.1.8.2. Definición

La palabra confiabilidad tiene una definición técnica precisa la cual se describe a continuación:

*"Confiabilidad es la probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, cuando opera en el entorno para el que ha sido diseñado".*

Debe observarse que hay cuatro puntos importantes dentro de esta definición. Estos son: (1) probabilidad; (2) un funcionamiento adecuado; (3) calificación con respecto al entorno; y (4) tiempo.

Matemáticamente se define confiabilidad como la probabilidad que un sistema o ítem no falle y se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$R(x) = 1 - P(x)$$

Donde:

$R(x)$ : Confiabilidad de un variable  $x$

$P(x)$ : Probabilidad de falla de una variable  $x$

El punto de partida para el estudio de la confiabilidad es el funcionamiento correcto. Inicialmente, no se define el funcionamiento correcto de forma más específica sin embargo se señala el hecho de que el complemento del funcionamiento correcto es la falla.

Entonces se puede deducir que un sistema o ítem tiene solamente tiene dos estados de funcionamiento posible:

- ) En servicio o disponible
- ) Fuera de servicio o indisponible

Para evaluar el funcionamiento de un sistema se lo realiza por medio de los siguientes índices de confiabilidad:



- J Disponibilidad. - este índice evalúa el tiempo que un sistema permanece en el estado disponible con respecto a un periodo determinado y generalmente se muestra en horas.
- J Mantenibilidad. - este índice evalúa el tiempo en el cuál un sistema puede recuperar su estado de disponibilidad y generalmente se lo muestra en horas.
- J Confiabilidad. - este índice evalúa la frecuencia con la que el sistema cambia de un estado disponible a indisponible y generalmente se lo muestra en número de fallas al año ( )

### **2.1.8.3. Informe del RCM**

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) tiene sus orígenes en la industria de la aviación a mediados de la década de los setenta cuando se efectuó un informe sobre los procesos utilizados para preparar los programas de mantenimiento de las aeronaves.

El informe concluía con un documento que decía:

"El desenvolvimiento de este programa es una dirección al control de la confiabilidad, a través de factores que la afectan y provee un sistema de acciones para mejorar los niveles de baja confiabilidad, cuando existan. En el pasado se ha puesto énfasis en el control de los períodos de las revisiones para dar un nivel satisfactorio de confiabilidad, la confiabilidad y la periodicidad de la revisión, no están necesariamente direccionados a tópicos asociados"

Esta era un duro golpe a la estructura del mantenimiento tradicional, en donde el tiempo de revisiones sucesivas, representaba un factor muy importante en el control de la frecuencia de fallos.

De este informe presentado se emitieron dos conclusiones importantes:

- ) Las revisiones programadas tienen poco efecto en la confiabilidad total de un activo complejo, a no ser que tenga un tipo de falla dominante.
- ) Hay muy pocos activos para los cuales no existe una forma de mantenimiento programado.

El éxito del RCM en el sector de la aviación ha hecho que otros sectores como la del sector eléctrico se interesen en esta filosofía de gestión de mantenimiento, adecuándolas a sus necesidades operacionales.

La técnica RCM (Reability Centered Maintenance) es una metodología que pretende determinar sistemáticamente un mantenimiento del activo o ítem desde el punto de vista funcional, que logre de manera efectiva y eficiente, alcanzar los niveles de seguridad y confiabilidad fijados para los mismos.

Un aspecto clave de esta filosofía es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su función de forma eficiente en el contexto operacional comprendiendo que el mismo se debe encontrar dentro de los límites de ejecución como:

- ) La capacidad inherente y la confiabilidad inherente limitan las funciones de cada activo.
- ) El mantenimiento, la confiabilidad y la capacidad del activo no pueden aumentar más allá de su nivel propio del diseño.

El mantenimiento solo puede lograr el funcionamiento de un activo cuando el estándar de ejecución esperado de una determinada función está dentro de los límites de la capacidad o confiabilidad del diseño.

Anthony Smith define el RCM como:

*"Una filosofía de gestión de mantenimiento, en el cual un grupo multidisciplinario, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento, en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema".*

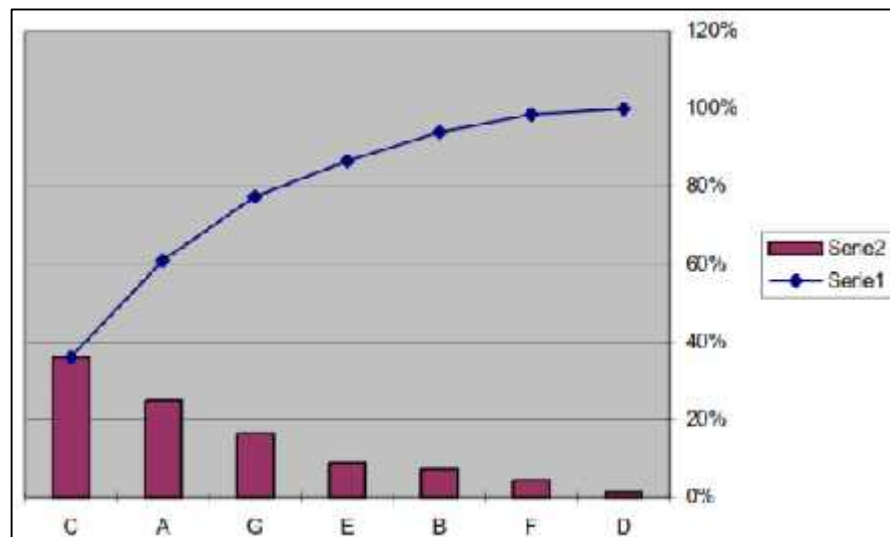
En otras palabras, esto significa un grupo multidisciplinario se encarga de maximizar la confiabilidad operacional de un sistema, identificando los requerimientos necesarios de mantenimiento según la importancia y criticidad de los activos, partiendo de la función requerida dentro del contexto operacional y finalizando con el análisis del posible efecto y consecuencia de la ocurrencia de los modos de falla que van directamente relacionados con las fallas funcionales.

## 2.2. Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto se usan para identificar los problemas más importantes. En general, el 80% del total se debe al 20% de los elementos. En realidad, los elementos más importantes podrían identificarse poniéndolos en una lista en orden descendente. Sin embargo, la gráfica tiene la ventaja de proporcionar un impacto visual de las pocas características vitales que requieren atención.

La construcción de un diagrama de Pareto es muy simple, se hace en seis pasos:

1. Determinar el método para clasificar los datos: por problema, causa, tipo de no conformidad, etcétera.
2. Decidir si para evaluar las características se usarán dólares (que es lo recomendable), frecuencia ponderada o frecuencia.
3. Reunir datos durante un intervalo adecuado de tiempo.
4. Resumir los datos y agrupar las categorías en orden descendente.
5. Calcular el porcentaje acumulado, si es que se va a usar.
6. Trazar el diagrama y determinar cuáles son los pocos vitales.



**Figura 2.1 Diagrama de Pareto**  
*Fuente: propia*

### 2.3. Excavadora 324DL marca Caterpillar - 2013



*Figura 2.2 Excavadora 324 DL en Campo*  
*Fuente: Propia*

Excavadora diseñada para remoción de material, característica por su gran despliegue al extraer material e incluso de nivel inferior a la máquina debido a la herramienta con que cuenta, la potencia del motor y a la estabilidad del diseño; principales características:

- Motor C7 Cat. El motor C7 Cat® con tecnología ACERT™. Los bloques fundamentales de la tecnología ACERT son el sistema de entrega de combustible, el sistema de administración de aire y el control electrónico. La tecnología ACERT optimiza el rendimiento del motor mientras cumple con las normas de emisiones Tier 3 EPA de los EE.UU, proporcionando 12% más de potencia si se compara con el motor de la Excavadora 312 6B.



**Figura 2.3 Motor CAT 7 para Excavadora 324 DL**  
**Fuente: Manual de la excavadora 324 DL**

- Cabina diseñada para ofrecer comodidad y una operación simple y fácil, permite al operador concentrarse en la producción.
- La estación de trabajo es amplia, silenciosa y cómoda, asegurando una alta productividad durante una jornada laboral larga. Los interruptores del aire acondicionado y del accesorio están ubicados convenientemente en la pared lateral derecha y el interruptor de arranque con llave y el selector de aceleración están en la consola del lado derecho.



**Figura 2.4 Cabina de la Excavadora 324 DL**  
**Fuente: Manual de la excavadora 324 DL**

- Sistema de enfriamiento, el ventilador de enfriamiento es impulsado directamente por el motor. Un ventilador de embrague viscoso controlado eléctricamente está disponible como accesorio para reducir el ruido. La velocidad óptima del ventilador se calcula con base en la velocidad real del motor, la temperatura del refrigerante, la temperatura del aceite hidráulico y la velocidad actual del ventilador.
- El filtro de aire de sello radial dispone de un núcleo de filtro de dos capas para lograr una filtración más eficiente y está ubicado en un compartimiento detrás de la cabina, se muestra una advertencia en el monitor cuando se acumula polvo por encima del nivel prefijado.
- Posee tecnologías de reducción de ruido. El motor posee montantes de aislamiento de caucho que corresponden con el conjunto del motor. La reducción de ruido se ha logrado mediante cambios de diseño a la cubierta superior aislada, al colector del cárter, con la estrategia de inyección múltiple, la cubierta aislada de la caja de sincronización, el diseño del cárter 4 y las mejoras en el tren de engranajes.
- El Módulo de Control Electrónico (ECM) es el “cerebro” del sistema de control del motor y responde rápidamente a las variables de operación para proporcionar la máxima eficiencia del motor. Totalmente integrado, con sensores en los sistemas de combustible, aire, refrigerante y escape del motor, el ECM guarda y transmite la información de las condiciones del motor: rpm, consumo de combustible y diagnóstico.
- El sistema hidráulico de la 324D y las ubicaciones de los componentes proporcionar un alto nivel de eficiencia de los sistemas. Las bombas principales, las válvulas de control y el tanque hidráulico están localizados muy cerca unos de otros para permitir tuberías más cortas entre componentes, reduciendo la pérdida por fricción y las caídas de presión en las tuberías. El diseño avanzado proporciona mayor comodidad al operador al poner el radiador en el lado de la cabina en la estructura superior. Esto permite que el aire de admisión ingrese al compartimiento del motor desde el lado del operador y el aire caliente, junto con el ruido de escape, salga por el lado opuesto del operador. Esto reduce el calor y

el ruido en el compartimiento del motor y evita que sean transmitidos al operador. Cuenta con amortiguadores ubicados en ambos extremos de los cilindros del brazo para amortiguar los impactos reduciendo a la vez los niveles de ruido y prolongando la duración de los componentes.

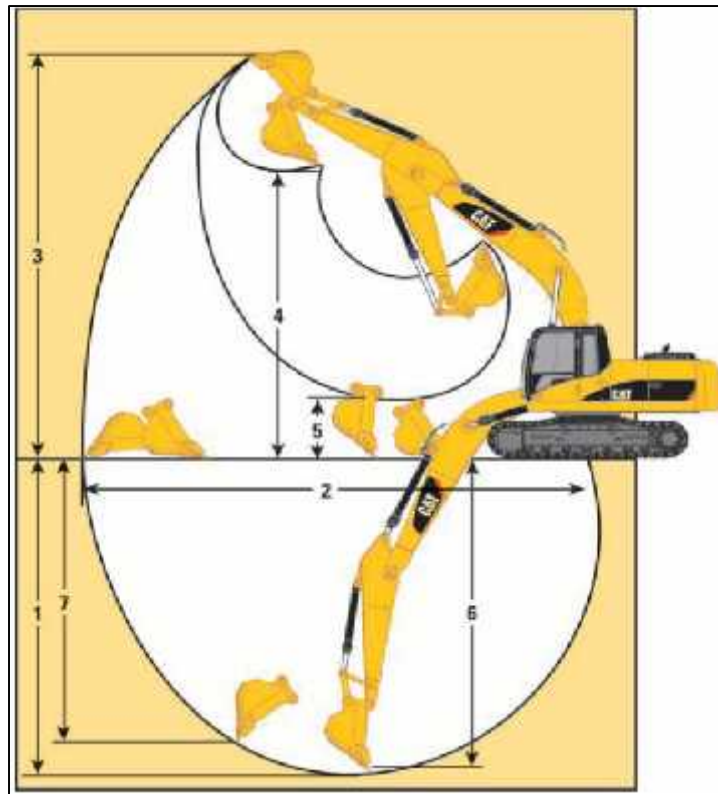
- Estructura, los componentes estructurales y el tren de rodaje de la 324D son la base de la duración de la máquina, más del 95% de la soldadura estructural en la excavadora Caterpillar se realiza por robot logrando más de tres veces la penetración de las soldaduras manuales.
- El bastidor principal en X, de sección de caja, proporciona excelente resistencia a la torsión.
- Cojinetes de rotación. Los cojinetes de rotación utilizan cojinetes de rodillos cruzados en lugar del diseño de los cojinetes de bolas tradicionales. El diseño de los cojinetes de rodillos cruzados permite más superficie de contacto para absorber las cargas de tensión resultado del alto par de giro que ofrece Cat. Esto proporciona una estabilidad excepcional de la máquina y reduce el cabeceo durante la operación de bajada de la pluma.



**Figura 2.5 Bastidor principal de la Excavadora 324 DL**  
**Fuente: Manual de la excavadora 324 DL**



- Varillajes de las plumas, brazos y cucharón están diseñados para una larga vida útil, son estructuras soldadas y fabricadas de múltiples planchas de grosor considerable en las áreas de altos esfuerzos de tensión.



**Figura 2.6 Varillaje de la pluma, brazos y cucharón de la Excavadora 324 DL**  
**Fuente: Manual de la excavadora 324 DL**

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Diseño**

Esta investigación presenta un diseño no experimental cualitativo, analizamos situaciones en las que ocurren los fallos imprevistos, son solucionados mediante la adquisición y cambio de componentes; estas averías pueden ser minimizadas mediante el diseño y aplicación de un plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada, el cual deberá ser diseñado y se propondrá para ser puesto en marcha por la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L.

#### **3.2. Sujetos de la Investigación**

Esta investigación está enfocada a la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L. – PIURA, dicha empresa cuenta: 01 Cargador Frontal 950GC - Caterpillar, 01 Excavadora 324DL - Caterpillar, 01 Tractor de Cadenas D6T XL - Caterpillar y 02 Volquetes Trakker 6x4 – Iveco, del listado antes mencionado se ha realizado un análisis de fallas y costos en el periodo de Junio – Noviembre de 2018 teniendo en cuenta el número de veces que el equipo ha fallado por mes y el costo que ha implicado las reparaciones para determinar el equipo crítico, luego del análisis se define como equipo crítico a:

- Excavadora 324DL marca Caterpillar - 2013.

### **3.3. Métodos y Procedimientos**

En el presente trabajo nos enfocamos apreciar las ocasiones en que se tuvo que atender la maquinaria de manera emergencial, a fin de determinar las oportunidades que tenemos al presentarse estos inconvenientes, todo esto teniendo como finalidad garantizar la operatividad de la maquinaria.

#### **3.3.1. Análisis de Historio de Fallas**

Determinar la máquina crítica dentro de la flota que posee INVERSIONES OBERTI S.R.L, se realizará un Diagrama de Pareto para identificar el maquina con mayor número de fallas y un Diagrama de Pareto para identificar la máquina que implico mayor costo en su reparación, para dicha máquina se diseñará un plan de mantenimiento.

#### **3.3.2. Diseñar Un Plan de Mantenimiento Preventivo.**

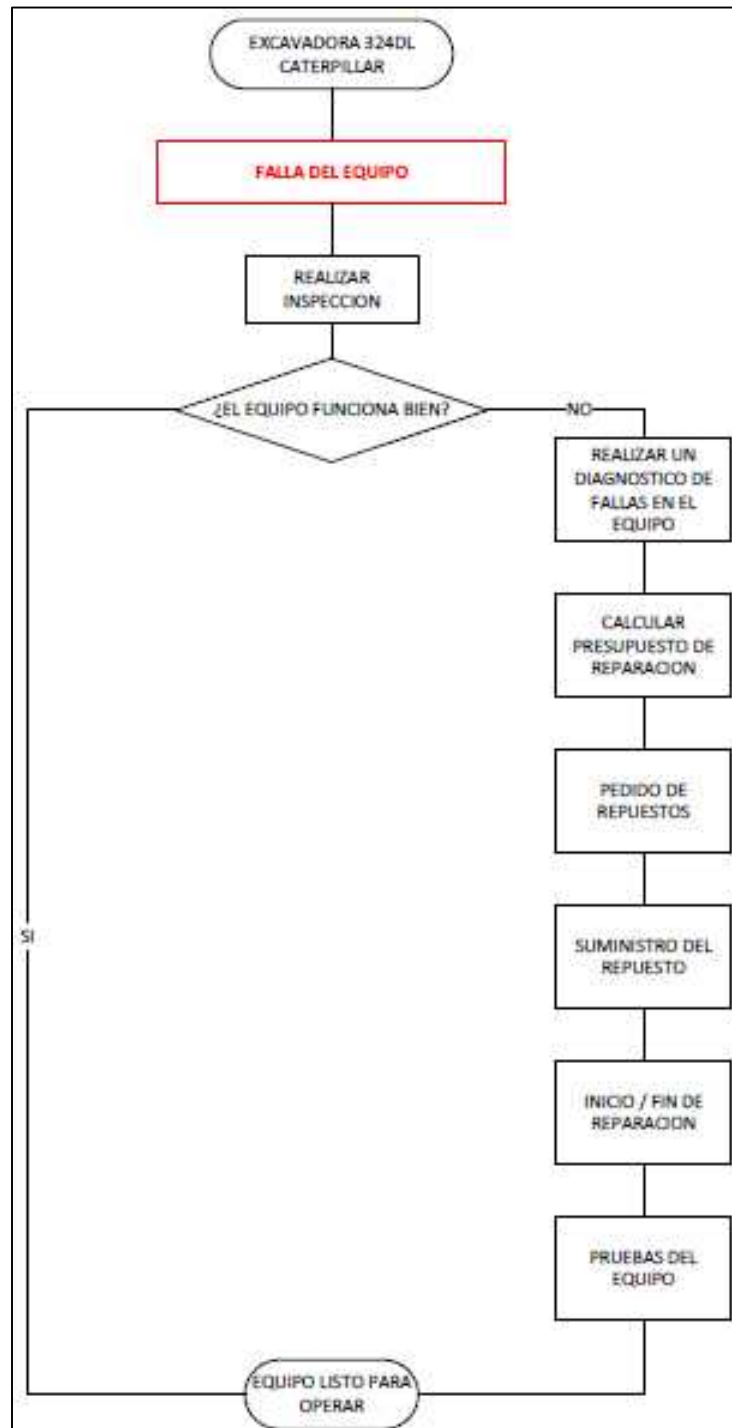
Diseñar un plan preventivo en el cual se encuentren establecidas todas las actividades de inspección al equipo y cambio de componentes recomendadas por el fabricante de la maquinaria, teniendo como base para la ejecución de las tareas la cantidad de horas de funcionamiento de la maquinaria.

#### **3.3.3. Materiales y Equipos Utilizados Para el Análisis de Datos**

- GPS Cat, - Sistema de Posicionamiento Global suministrado con la maquinaria, el equipo nos permite rastrear la excavadora y saber datos de funcionamiento como son las horas que lleva en servicio.
- Equipo de cómputo de la empresa OBERTI S.R.L – PIURA.
- WINCONTALLL, Software de facturación de la empresa OBERTI S.R.L – PIURA.
- Microsoft Excel para la realización de cálculos de indicadores.

### 3.3.4. Procedimientos en la Reparación de Fallas

Se muestra a continuación el diagrama actual de los pasos a seguir a partir de la aparición de la falla hasta la reposición de operatividad:



**Figura 3.1 Diagrama para reparación de fallas**  
**Fuente: Propia**

### **3.4. Técnicas e Instrumentos**

#### **3.4.1. Técnicas de Muestreo**

Se realiza un muestreo no aleatorio.

#### **3.4.2. Técnicas de Recolección de Datos**

La técnica usada para la recolección de datos de la presente investigación fue de campo. Se recopilaron los datos: equipo en falla, fecha de ocurrencia, esto en las diversas oportunidades que se presentó falla de Junio – noviembre 2018.

#### **3.4.3. Instrumentos de Recolección de Datos**

Los datos obtenidos han sido mediante la observación de las ocurrencias en campo.

#### **3.4.4. De Análisis**

Los datos obtenidos de las fallas serán analizados primero en los indicadores: MTTR (Tiempo medio de reparación) y MTBF (Tiempo medio entre fallas), estos dos nos muestran la disponibilidad de maquinaria.

## IV. DESARROLLO Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1. Desarrollo de Objetivos

#### 4.1.1. Plan de Mantenimiento Actual

En la actualidad INVERSIONES OBERTI S.R.L. no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo, es decir, solo se realiza la corrección no proyectada de las fallas de los equipos, lo que ha permitido observar desde dos puntos de vista (tanto como contratista y cliente), como se ven afectadas las dos partes cuando ocurre una falla en los equipos, generando retrasos a los clientes por suspensiones en las obras y costos a la empresa por toda la planeación operativa y logística necesaria para el mantenimiento correctivo del equipo.

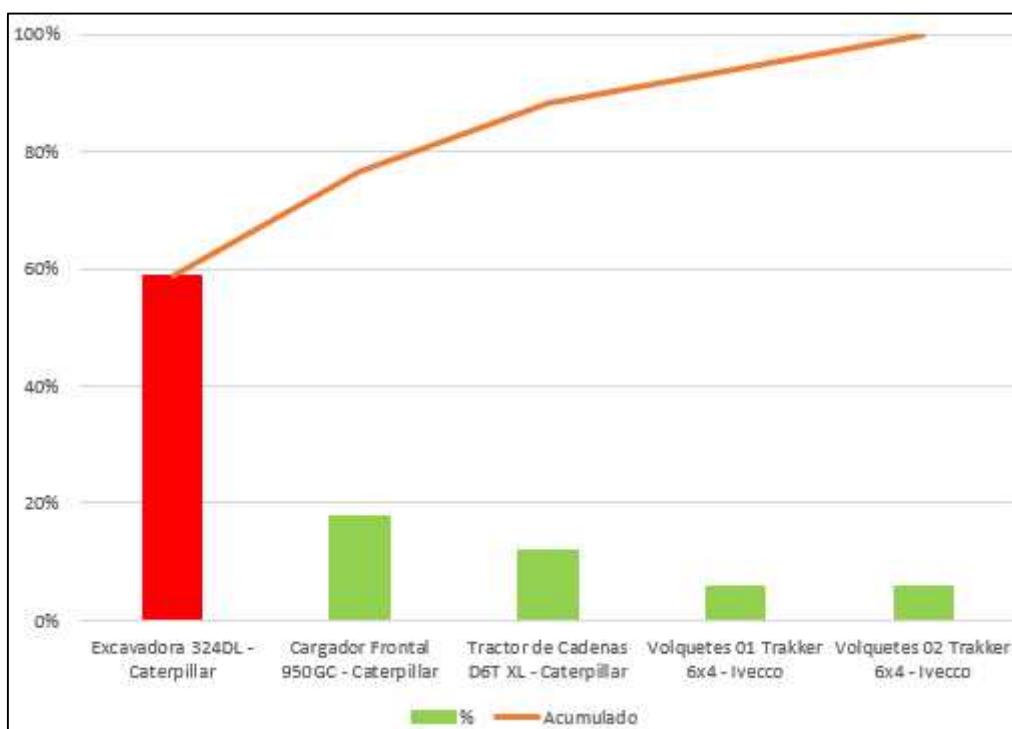
#### 4.1.2. Análisis de Equipo Critico

La investigación se llevó a cabo en el periodo de Junio – noviembre de 2018, durante el periodo en mención se analizaron las diversas oportunidades en las que se presentaron fallas en la maquinaria de la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L. La tabla que se muestra a continuación nos indica el número de ocurrencias que se dieron en cada mes:

Maquinaria	Modelo	Marca	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Acumulado
Cargador Frontal	950GC	Caterpillar	1	0	1	0	0	1	3
Excavadora	324DL	Caterpillar	2	2	0	3	2	1	10
Tractor de Cadenas	D6T XL	Caterpillar	0	0	1	0	1	0	2
Volquetes D1	Trakker 5x4	Iveco	0	1	0	0	0	0	1
Volquetes D2	Trakker 5x4	Iveco	0	0	0	1	0	0	1

**Tabla 4.1 Análisis de Equipo Critico de la empresa Inversiones Oberti SRL**  
**Fuente: Propia**

De la tabla antes expuesta, sacamos el Diagrama de Pareto:



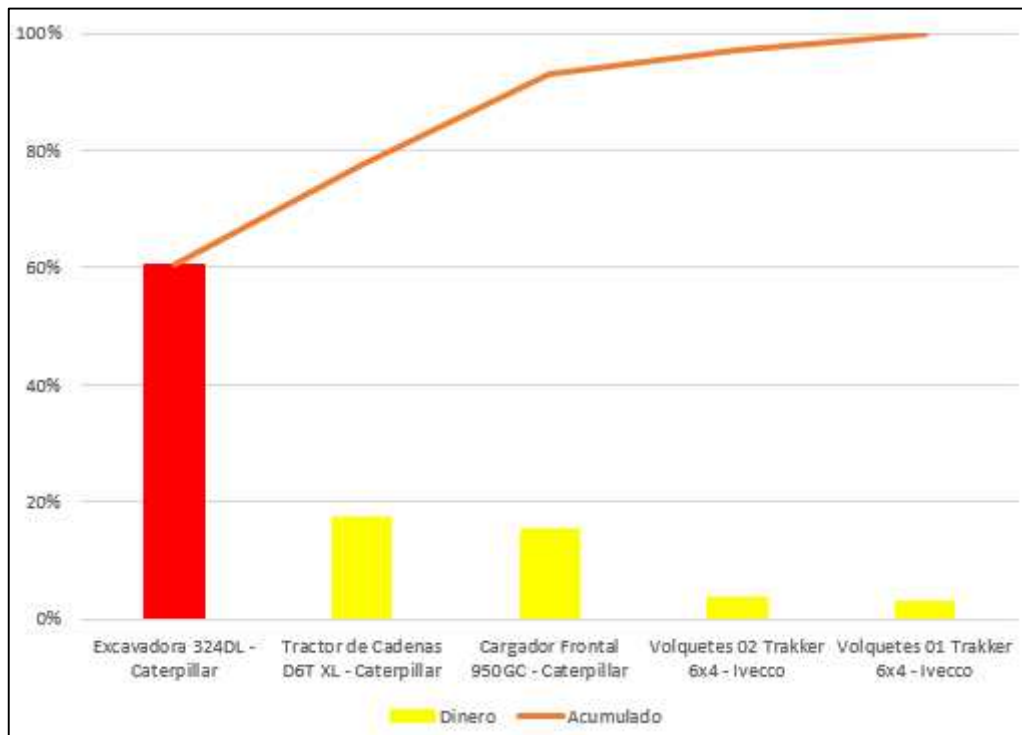
**Grafico 4.1 Diagrama de Pareto de la empresa Inversiones Oberti SRL**  
Fuente: Propia

Luego vamos analizar los costos que hemos realizado para reparar la maquinaria:

Maquinaria	Dinero
Excavadora 324DL - Caterpillar	S/ 59,760
Cargador Frontal 950GC - Caterpillar	S/ 15,300
Tractor de Cadenas D6T XL - Caterpillar	S/ 17,100
Volquetes 01 Trakker 6x4 - Ivecco	S/ 3,000
Volquetes 02 Trakker 6x4 - Ivecco	S/ 3,800
<b>Total</b>	<b>S/ 98,960</b>

**Tabla 4.2 Costos de reparación de la maquinaria de la empresa Inversiones Oberti SRL**  
Fuente: Propia

De los costos antes mostrados realizamos el diagrama de Pareto:



**Grafico 4.2 Diagrama de Pareto Evaluando Costos**  
**Fuente: Propia**

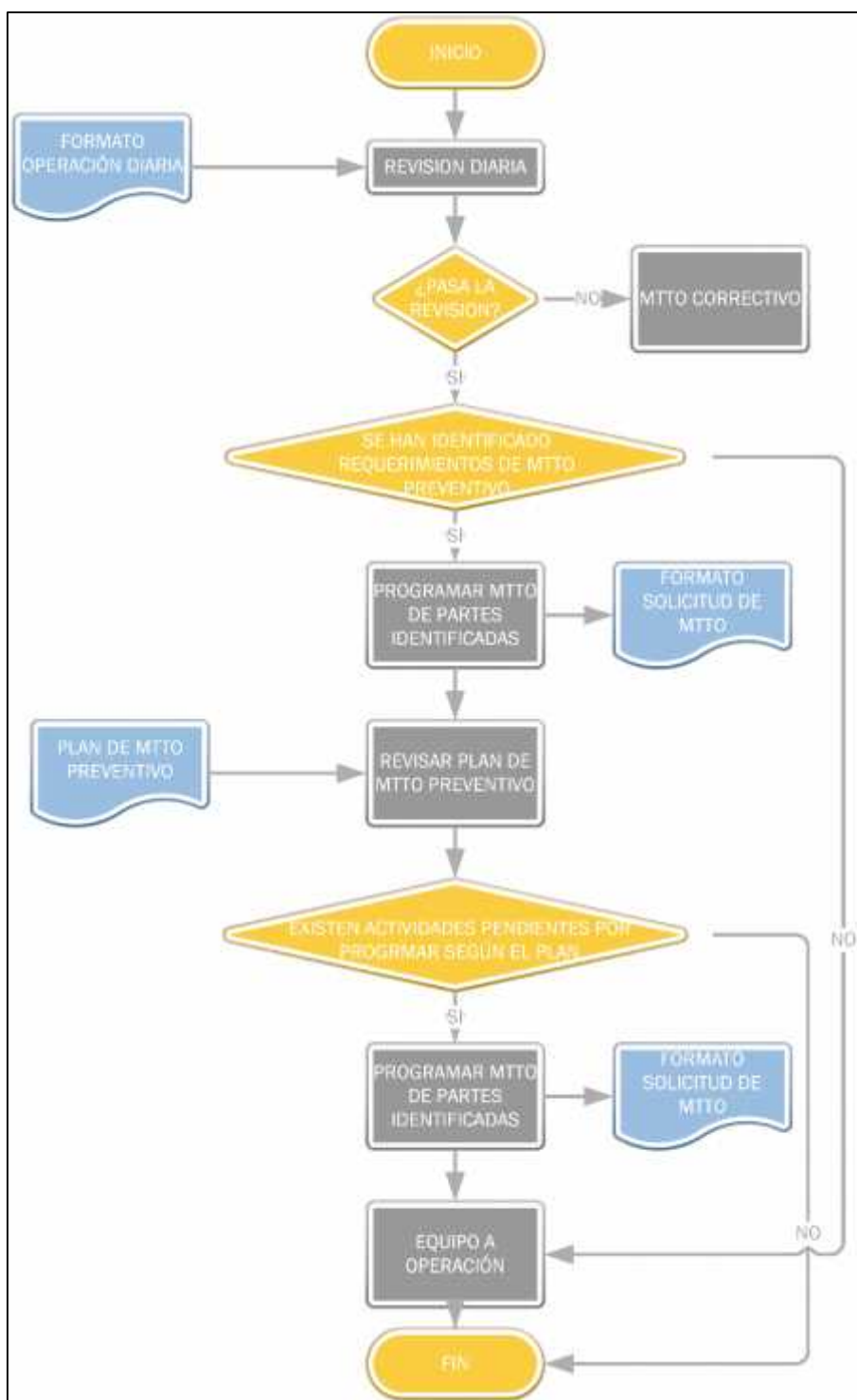
Luego de inspeccionar ambas graficas podemos apreciar que el mayor número de fallas y la mayor inversión realizada para reparar, concuerdan, siendo la maquinaria critica la EXCAVADORA 324 DL – CATERPILLAR, es aquí el equipo en el cual pondremos nuestras fuerzas para realizar un plan de mantenimiento preventivo.



#### **4.1.3. Propuesta de Plan de Mantenimiento Preventivo Para La Excavadora Caterpillar 324 DL**

El plan de mantenimiento preventivo diseñado para este equipo, la programación de las actividades y la frecuencia de ejecución de las mismas indicadas, se realizaron con base en las instrucciones del fabricante y a las recomendaciones de los operadores que pasaron por la máquina que poseen mayor experiencia en la maniobra del mismo. De igual forma se establecieron para cada una de las actividades programadas, las herramientas, equipos y personal necesarios para su ejecución, con el fin de generar un estimativo sobre los costos en los que debe incurrir la empresa para llevar a cabo el plan.

Por otro lado, y con la finalidad de ejercer un mejor control sobre el cumplimiento del plan propuesto, se diseñó en primera instancia un formato de operación diaria, que tal como su nombre lo indica se debe inspeccionar diariamente, y corresponde a una lista de chequeo que evalúa si los aspectos fundamentales para el trabajo de un equipo poseen las condiciones adecuadas para su funcionamiento. Adicionalmente, se crearon los planes de mantenimiento que indican la frecuencia y periodicidad de ejecución de las actividades, las fichas de programación de mantenimiento que de una forma más específica indican la fecha y hora de realización y en el que se incluyen las actividades preventivas adicionales, el formato de solicitud de mantenimiento, mediante el cual se realizan los requerimientos de los recursos necesarios para desarrollar la actividad según lo programado para cada sistema. Seguidamente, se ilustra el proceso propuesto para el desarrollo del programa de mantenimiento preventivo, continuando con la descripción de este.



**Figura 4.1 Diagrama Del plan de Mantenimiento Propuesto**  
**Fuente: Propia**

#### **4.1.3.1. Formatos de Gestión para el Plan de Mantenimiento**

Para que un plan de mantenimiento se realice efectivamente, es necesario trabajar con formatos en donde se ingrese información que facilite el control de las actividades en los equipos, para así obtener un historial u hoja de vida que facilite diagnósticos de falla y permita identificar las deficiencias en la maquinaria. Se han creado 02 tipos de fichas de mantenimiento.

##### **A. Formato de Operación Diaria**


En este formato se registrará diariamente los datos obtenidos de la revisión correspondiente a los componentes de la Excavadora Caterpillar 324DL, se realizará una inspección de las condiciones mínimas requerida por el fabricante para la operación del equipo. En la parte superior del formato se ingresa nombres de quien realiza la revisión y la fecha de esta, en nuestro caso el operador siempre será el encargado de realizar esta operación. Seguidamente encontraremos todas las actividades de inspección pertinentes a este equipo en donde el operador dependiendo del estado del componente registrará si está en buen o mal estado, simbolizados en el formato con la letra B y M respectivamente. Si el operador encuentra una avería o un fallo inminente debe reportar en el espacio de observaciones la anomalía encontrada, se finaliza el formato firmando y entregado al encargado de la ejecución de la obra por parte de INVERSIONES OBERTI S.R.L.

INSPECCIÓN DIARIA															
FECHA DE INSPECCIÓN:															
NOMBRE DEL OPERADOR:															
MAQUINA:															
Item	Comprobacion de Partes	LUN		MAR		MIER		JUE		VIE		SAB		DOM	
		B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M	B	M
1	Luces de trabajo delanteras														
2	Luces de trabajo traseras														
3	Cinturon de seguridad														
4	Extintor de 10 lbs PQS														
5	Asiento del operador														
6	Tablero de control														
7	Exhosto o Tubo de escape														
8	Alarma de retroceso o emergencia														
9	Escaleras y Apoyo de acceso														
10	Nivel de aceite Hidraulico														
11	Mangueras del sistema Hidraulico														
12	Mecanismo de Giro														
13	Estado del Cucharon														
14	Mando de Bloqueo de avance														
15	Avisos Preventivos en el equipo														
16	Nivel de combustible														
17	Nivel de Refrigerante														
18	Drenar deposito filtro de combustible														
19	Rodillo de oruga														
20	Tension de oruga														
21	Nivel de liquido del lavaparabrisas														
22	Comprobar/engrasar eje de pluma/Cuchara/Balancin														
23	Estados de las Fajas (correas)														
24	Nivel de aceite de motor														
OBSERVACIONES															
FIRMA DEL OPERADOR															
V"B" ADMINISTRADOR DE OBRA															

**Figura 4.2 Formato de Inspección Diaria propuesto**  
**Fuente: Propia**

## B. Solicitud de Mantenimiento.

A través de este la persona encargada de la maquinaria “Operador”, le informa al encargado de la ejecución de la obra por parte de INVERSIONES OBERTI S.R.L. que existe una falla que necesita reparación y solicita los recursos necesarios para realizar los trabajos requeridos. De igual manera, notifica de la naturaleza de la falla y la reparación necesaria, así como el sistema que afecta esta (mecánico, eléctrico, hidráulico), según el trabajo que se realice. Además, se ingresa los repuestos utilizados para la reparación, con lo cual se tendrá un control de los costos de la intervención. Finalmente, el formato es firmado por la persona responsable del procedimiento y el ingeniero de mantenimiento respectivamente.



SOLICITUD DE MANTENIMIENTO					
Tipo de Mantenimiento		Correctivo <input type="checkbox"/>	Preventivo <input type="checkbox"/>	Fecha de Solicitud	
Equipo			Modelo		
Pecador del Servicio	Personal Interno <input type="checkbox"/>		Horometro		
	Personal Externo <input type="checkbox"/>				
Sistema Hidraulico <input type="checkbox"/>		Sistema Electrico <input type="checkbox"/>		Sistema Mecanico <input type="checkbox"/>	
Numero de quien ejesuta					
1. Descripción de la solicitud			2. Diagnostico		
3. Trabajos Realizados					
4. Repuestos o materiales					
Descripción		Cantidad	Descripción		Cantidad
5. Prueba					
Fecha de Prueba	Responsable de la Prueba	Resultado de la Prueba		Satisfactorio <input type="checkbox"/>	No Satisfac.. <input type="checkbox"/>
6. Observaciones					
Valor Mano De obra		Valor de Rotos		Valor total del Mto.	
Cantidad de Horas					
Elaborado Por:					
Recibido Conforme:					

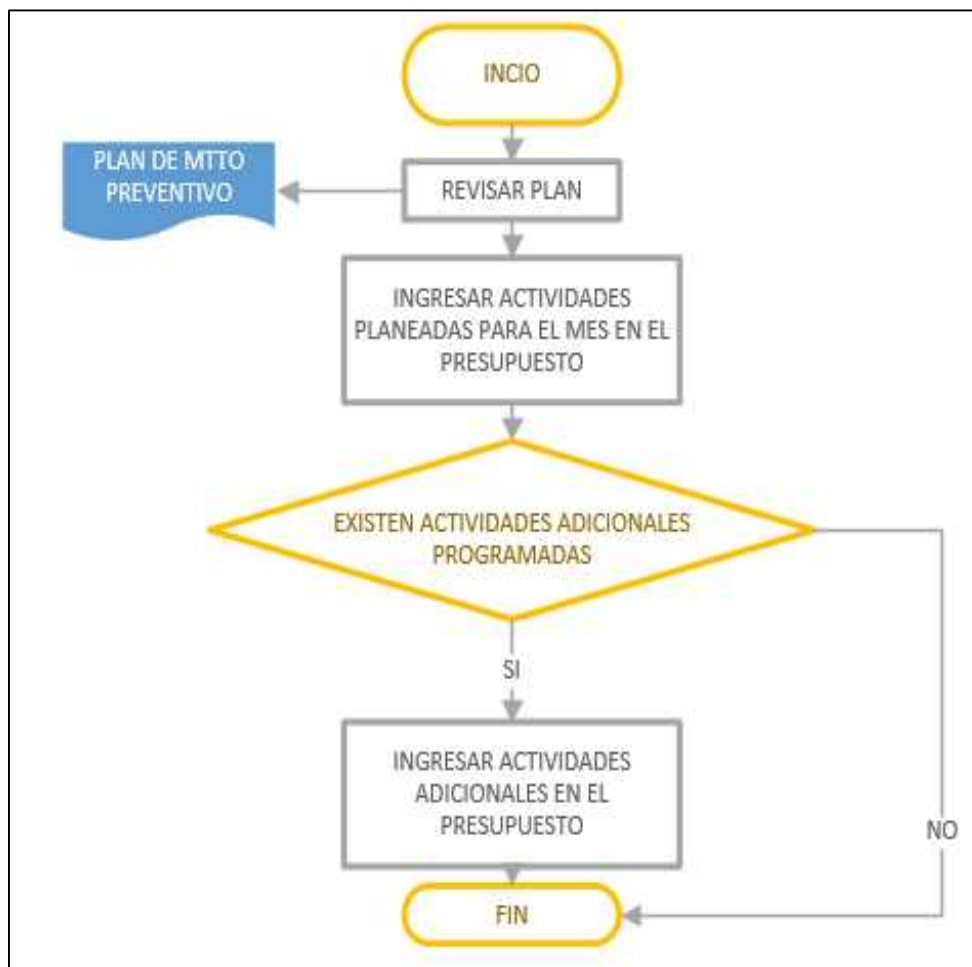
**Figura 4.3 Formato de Solicitud de mantenimiento propuesto**  
Fuente: Propia

#### **4.1.4. Estimación de Costos para el Plan de Mantenimiento**

Se comprenden aquellos generados por el mantenimiento correctivo y preventivo, en el caso del primero, estos recursos se manejan como un porcentaje de la suma total (puede estar por debajo o por encima del requerimiento futuro real), pues se desconocen las fallas que puedan presentarse y por tanto su costo, sin embargo, para el caso del segundo, es posible estimar el costo de su ejecución pues las actividades se programan con anticipación. Con el fin de proporcionar una ayuda para la elaboración del presupuesto del mantenimiento preventivo de la empresa INVERSIONES OBERTI SRL, se ha realizado una estimación de los costos de cada actividad con base en los precios de los repuestos identificados y los valores de las horas hombre del personal que desarrolla las actividades al momento de cotizar (estos valores son susceptibles a cambios).

Para la ejecución de los trabajos de mantenimiento INVERSIONES OBERTI SRL cuenta con personal certificado (Mecánico) con base a los cuales se calcula el costo de mano de obra de las actividades de mantenimiento. En el desarrollo de esta propuesta a cada labor se le asignó un responsable que puede ser el Mecánico o el operador, cada uno de estos tiene un valor hora calculado a partir de su sueldo básico mensual. Este valor hora corresponde al costo total del mecánico en un mes dividido en 30 días y luego en 8 horas (trabajo diario), se tienen en cuenta prestaciones y servicios, no se incluye en el cálculo horas extras, debido a que éstas son sobrecostos del mantenimiento, que generalmente están considerados dentro del porcentaje de imprevistos. Es importante recalcar que los costos son calculados anualmente, debido a que las actividades son desarrolladas en diferentes tiempos según las necesidades y/o requerimientos que se presenten durante el proceso.

Teniendo los costos estimados de cada actividad y el plan de mantenimiento, la elaboración del presupuesto consistirá en revisar el plan de mantenimiento, identificar las actividades programadas, las actividades extras, identificar sus costos y calcular el valor total del procedimiento, tal como se muestra en la siguiente imagen:



**Figura 4.4 Diagrama para presupuestar actividades del mantenimiento**  
**Fuente: Propia**

Seguidamente, se realiza el plan de mantenimiento para la EXCAVADORA CATERPILLAR 324DL, se debe tener en cuenta todos los sistemas: eléctrico, mecánico, hidráulico que constituyen la maquinaria, así como también sus repuestos: filtros y aceites. Es indispensable anotar que la frecuencia de trabajo y duración de la actividad establecida para éste, se encuentra dada en horas (H). En algunos casos se encontrará la abreviatura N/A (No aplica) en la sección de Herramientas y Equipos, es decir, no se necesita de éstos para realizar la labor de mantenimiento.

#### 4.1.5. Plan de Mantenimiento Preventivo Desarrollado para La Excavadora Caterpillar 324DL

En las tablas siguientes se listan las actividades establecidas para el mantenimiento preventivo de cada uno de los subsistemas identificados para la EXCAVADORA CATERPILLAR 324DL, teniendo en cuenta las observaciones, las recomendaciones del operador y las indicaciones del fabricante.

##### 4.1.5.1. Motor

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS / EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
250	Toma de muestra de aceite	Llave de ¾, Depósito de muestra	Operador	0,25
500	Cambiar aceite y filtro	Llave saca filtro, Llave o dado de 1/2 y 5/16", Depósito para vaciar el aceite usado, embudo.	Mecánico	1
250	Cambiar Elemento externo del filtro de aire	Llave saca filtro	Mecánico	1
500	Cambiar Elemento interno del filtro de aire	Llave saca filtro	Mecánico	0,5
48	Examine y limpie válvula de polvo de filtro de aire	Limpia	Mecánico	1
2000	Cambiar líquido refrigerante	Llave 1/2" y depósito recolector.	Mecánico	0,5
250	Cambiar elemento filtrante de bomba combustible	Llave saca filtro	Mecánico	1
250	Cambiar filtro de combustible primario	Llave saca filtro	Mecánico	1
250	Comprobar tensión y estado de correa de ventilador	Llave de 5/8	Mecánico	0,5
2000	Comprobar y ajustar holgura de válvulas	Calibrador de válvulas, destornillador de paleta, llave de 1/2".	Mecánico	2
500	Compruebe ajuste de tornillos soporte de motor	Dado de 15/16 con palanca	Mecánico	1
250	Compruebe ajuste de sujeción de sistema de escape	Llave de 7/16	Mecánico	0,5
1000	Limpia y examina radiador	Hidrolavadora.	Mecánico	24

**Tabla 4.3 actividades para el mantenimiento del Motor de la excavadora 324 DL**  
**Fuente: Propia**



#### 4.1.5.2. Trasmisión

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
500	Comprobar nivel de aceite cajas reductoras oruga	Varilla de nivel	Operador	0,25
500	Comprobar nivel de aceite caja reductora de giro	Varilla de nivel	Operador	0,25
1000	Cambiar aceite de caja reductora de oruga	Llave o dado de 1", depósito para vaciar el aceite usado, embudo.	Mecánico	1
1000	Cambiar aceite de caja reductora de giro	Llave o dado de 1", depósito para vaciar el aceite usado, embudo	Mecánico	1

**Tabla 4.4 actividades para el mantenimiento de la transmisión de la excavadora 324 DL**  
Fuente: Propia

#### 4.1.5.3. Sistema Hidráulico

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
250	Tomar muestras	Depósito de muestra, llave de 3/4	Operador	1
500	Cambiar aceite	Llave o dado de 1/2 y 5/16 ", y depósito para vaciar el aceite usado, embudo.	Mecánico	3
250	Cambiar elemento del filtro servo	Llave o dado de 1/2 y 5/16 "	Mecánico	0,5
1000	Cambiar elemento filtro aire del Motor	Llave L N° 8	Mecánico	1
500	Cambiar elemento filtro de retorno	Llave Saca Filtro	Mecánico	0,5
250	Cambiar elemento filtro de drenaje	Llave Saca Filtro	Mecánico	0,5
250'	Cambiar Pre filtro de aspiración	Llave Saca Filtro	Mecánico	1
500	comprobar estado de los cilindros	N/A	Mecánico	0,5
500	Limpiar refrigerador de aceite	Hidrolavadora	Mecánico	1
250	Vaciar deposito agua y sedimentos	Llave Saca Filtro	Mecánico	0,5
1000	Revisar respiradero del depósito hidráulico	N/A	Mecánico	0,25
2000	Cambiar manguera de salida, línea bomba	02 Llave de expansión de 2"	Mecánico	2
2000	Cambiar manguera cilindro, línea balancín	02 Llave de expansión de 2"	Mecánico	

2000	Cambiar manguera cilindro, línea cazo	02 Llave de expansión de 2"	Mecánico	
1000	Cambiar manguera del cilindro de la pluma	02 Llave de expansión de 2"	Mecánico	1

**Tabla 4.5 actividades para el mantenimiento del Sistema Hidráulico de la excavadora 324 DL**  
Fuente: Propia

#### 4.1.5.4. Frenos

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
100	Nivel de aceite del sistema de frenos	Varilla nivel	Operador	0,25
2000	Cambiar aceite de sistema de frenos	Llave de 1/2", Limpiar, depósito y embudo.	Mecánico	1
80	Comprobar y ajustar freno de mano	Pinzas, llave de 7/16.	Mecánico	0,5

**Tabla 4.6 actividades para el mantenimiento de los Frenos de la excavadora 324 DL**  
Fuente: Propia

#### 4.1.5.5. Sistema eléctrico

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
250	Comprobar nivel de electrolito de la batería	Equipo para medir electrolito	Mecánico	1
48	Comprobar cableado en cuanto a roces/enrutamiento	N/A	Mecánico	1
80	Comprobar terminales de la batería en cuanto al estado y apriete	Llave nº 12	Mecánico	1

**Tabla 4.7 actividades para el mantenimiento del Sistema Eléctrico de la excavadora 324 DL**  
Fuente: Propia

#### 4.1.5.6. Carrocería y Cabina

FRECUENCIA (H)	DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO	HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	PERSONAL	Duración de la Act. (H)
250	Comprobar y engrasar todos los pasadores y bujes	Aceitera	Mecánico	0,66
250	Lubricar bisagras de puertas/ventanillas	Aceitera	Mecánico	0,66
250	Lubricar todos los cables	Aceitera	Mecánico	0,66
250	Comprobar puerta- ajuste	N/A	Mecánico	0,25

250	Comprobar asiento- funcionamiento	N/A	Mecánico	0,25
10	Comprobar nivel del líquido del lavaparabrisas	N/A	Operador	0,10
80	Comprobar estado de la pintura	N/A	Operador	0,15
250	Comprobar y limpiar maquina en general	Hidrolavadora	Operador	1
10	Engrasar Pala	Aceitera	Mecánico	0.15

**Tabla 4.8 actividades para el mantenimiento de la Carrocería y Cabina de la excavadora 324 DL**  
**Fuente: Propia**

En la siguiente tabla se muestran los filtros, aceites y repuestos que se utilizaran en el plan de mantenimiento propuesto para la excavadora 324DL

MARCA	DESCRIPCION	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CAT	1R-0762 Filtro de Combustible	2	\$ 39.91	\$ 79.82
CAT	1R-1807: Filtro de aceite del motor	1	\$ 26.11	\$ 26.11
CAT	132-7165: Filtro de aire del motor	1	\$ 112.37	\$ 112.37
CAT	326-1644: Separador de agua del combustible	1	\$ 50.69	\$ 50.69
CAT	179-9806: Filtro de Aceite Hidráulico	1	\$ 128.68	\$ 128.68
CAT	126-2131: Filtro hidráulico o de transmisión	1	\$ 149.44	\$ 149.44
CAT	5I-8670: Filtro de Aceite Hidráulico	1	\$ 59.88	\$ 59.88
CAT	327-6618: Filtro de aire de la cabina	1	\$ 47.36	\$ 47.36
CAT	Aceite Motor 15W40	55 Gal	\$ 23.00	\$1265.00
CAT	Grasa	15 Gal	\$ 26.47	\$ 397.05
CAT	aceite de mandos finales	10 Gal	\$ 25.23	\$ 252.30
CAT	Aceite Hidráulico	55 Gal	\$ 16.80	\$ 924.00
Vistony	Líquido para batería	1 Gal	\$2.35	\$ 2.35
CAT	Líquido refrigerante radiador	5 Gal	\$ 19.36	\$ 96.80

**Tabla 4.9 Relación de filtros, aceites y repuestos para la excavadora 324 DL**  
**Fuente: Propia**

## CONCLUSIONES

- ✓ Después de haber realizado la presente investigación se determinó que la maquinaria crítica es: Excavadora 324 DL marca Caterpillar dado que presentaba el mayor número de fallas y el costo más elevado de reparación durante el periodo Junio – Noviembre 2018, debido a la antigüedad del equipo y a la falta de un mantenimiento preventivo.
- ✓ Se han propuesto actividades de inspección y cambio de componentes, ambas actividades de carácter preventivo para evitar las fallas inesperadas como las que se han presentado durante el periodo de estudio.
- ✓ El plan que se elaboró en el presente proyecto de investigación comprende una visión actual del tipo de actividades de mantenimiento que se realizan en la empresa INVERSIONES OBERTI S.R.L., las mismas que bajo un análisis previo nos permitieron proponer actividades preventivas y un plan de mantenimiento preventivo basado en horas de funcionamiento del equipo con un costo estimado de los repuestos preventivos a cambiar, lo cual en conjunto coadyuva a minimizar el número de fallas que se puedan presentar a partir de la implementación del Plan de Mantenimiento Preventivo.
- ✓ La Excavadora 324 DL marca Caterpillar, año de fabricación 2013; materia de objeto del presente estudio, es una herramienta indispensable para la realización de trabajos de remoción de tierra en la ejecución de obras de gran envergadura siendo importante su operatividad y su máxima disponibilidad en la ejecución de las mismas para cumplir los plazos de entrega establecidos.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ En la presente investigación se recopiló información de campo del funcionamiento y fallas presentadas de la maquinaria y teniéndose en cuenta que también se emplean en empresas similares, resulta conveniente que estas adopten técnicas de mantenimiento preventivo que ayude a mejorar la disponibilidad de maquinaria.
- ✓ Capacitar al personal de mantenimiento en los procedimientos e inspecciones creadas para la detección temprana de anomalías.
- ✓ Debemos realizar constantemente un estudio de fallas y costos respecto a un periodo establecido para buscar oportunidades de mejora en el proceso o en los equipos, esto a fin de contribuir con la vida útil de los equipos impactando positivamente en la rentabilidad de la empresa.
- ✓ Las empresas de rubros similares deben contar con un plan de mantenimiento preventivo bien estructurado para poder anticiparse a fallas que impliquen intervenciones de tipo correctiva y puedan tener la maquinaria operativa en todo momento.

## BIBLIOGRAFIA

- ) BESTERFIELD, D. H. (2009). *Control de Calidad - 8va edición*. Mexico: PEARSON Educación.
- ) CELA ANDAGOYA, R. F. (2005). *"MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM) DEL AUTOTRANSFORMADOR DE POMASQUI 230/138/13.8"*. QUITO.ECUADOR: ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.
- ) Excavadora Hidráulica 324D L. (2013). *CAT*, 4 - 9.
- ) FABIAN GRIJALVA, W. (2003). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble*. Guatemala.: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- ) Moubray, J. (1991). *Mantenimiento centrado en confiabilidad*. Aladon Ltd.
- ) PASCUAL J., R. (2002). *Manual del Ingeniero de Mantenimiento*.
- ) RIVERA RUBIO, E. (2011). *Sistema de gestión del Mantenimiento Industrial*. Lima. Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. .

## ANEXOS

- ✓ Excavadora 324 DL, en reparación:



*Figura 5.1 Excavadora 324 DL en Reparación (Julio 2018)*  
*Fuente: Propia*

- ✓ Excesiva suciedad en el enfriador:



*Figura 5.2 Radiador sucio de la Excavadora 324 DL*  
*Fuente: Propia*

- ✓ Fuga de aceite por respirador de motor:



***Figura 5.3 Fuga de Aceite de la Excavadora 324 DL***  
***Fuente: Propia***

- ✓ Fuga de aceite motor por base de filtro de aceite de motor:



***Figura 5.4 Base del filtro de aceite roto***  
***Fuente: Propia***